



(19)

(11) Publication number: **200**

Generated Document.

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(21) Application number: **2001144286**

(51) Intl. Cl.: **H01L 21/304 B24B 37/04**  
49/12

(22) Application date: **15.05.01**

(30) Priority:

(43) Date of application  
publication: **29.11.02**

(84) Designated contracting  
states:

(71) Applicant: **NIKON CORP**

(72) Inventor: **SHINJO HIROCHIKA**  
**HAYASHI YUTAKA**

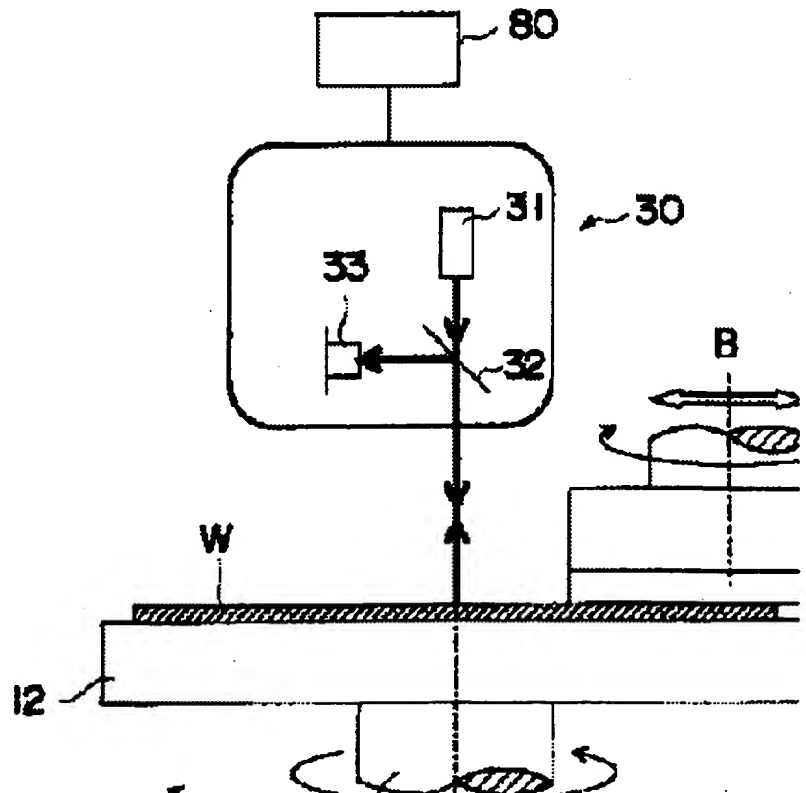
(74) Representative:

### (54) POLISHING APPARATUS AND METHOD AND SEMICONDUCTOR DEVICE MANUFACTURING METHOD USING THE SAME

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain a polishing apparatus that can precisely detect the polishing end point in a wafer that is being polished and machined.

**SOLUTION:** This polishing apparatus 1 has a wafer holder 12 that sucks and retains a wafer W on an upper surface, a head member 22 that is positioned at the upper portion of the wafer holder and has a polishing pad 21 on a lower surface, and an optical measurement section 30 that measures the surface state of the wafer W. The wafer W is retained by the wafer holder 12 for rotating and driving, and is flatly polished and machined by the CMP operation of slurry at a portion to the polishing pad 21 that is crimped to the surface to be polished of the wafer for relative movement. Probe light from the optical measurement section 30 is irradiated to the rotary center (specific



BEST AVAILABLE COPY

irradiated to the rotary center (specific position) of the wafer W, and variation in the intensity of reflection signal light during polishing and machining is measured. In this configuration, a measurement position is constantly the same even if the wafer W is rotated, thus precisely judging a polishing end point in the wafer.

10

15

COPYRIGHT: (C)2003,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-343754

(P2002-343754A)

(43) 公開日 平成14年11月29日 (2002. 11. 29)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
H 0 1 L 21/304	6 2 2	H 0 1 L 21/304	6 2 2 S 2 F 0 6 5
	6 2 1		6 2 1 D 3 C 0 3 4
B 2 4 B 37/04		B 2 4 B 37/04	K 3 C 0 5 8
49/04		49/04	Z
49/12		49/12	

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-144286(P2001-144286)

(22) 出願日 平成13年5月15日 (2001. 5. 15)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 新城 啓慎

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 林 豊

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74) 代理人 100092897

弁理士 大西 正悟

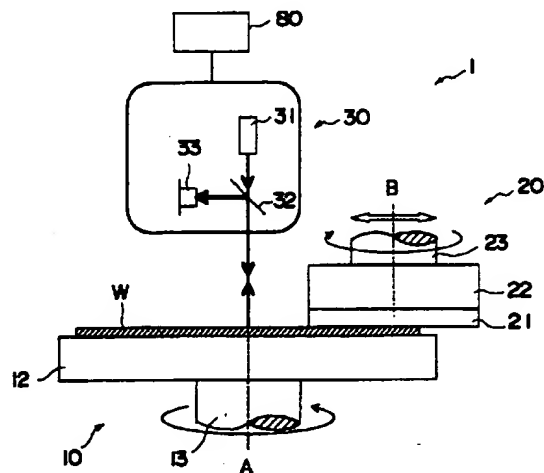
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 研磨装置、研磨方法およびこの研磨装置を用いた半導体デバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 研磨加工中のウェハの研磨終点を的確に検出可能な研磨装置を得る。

【解決手段】 研磨装置1は、上面にウェハWを吸着保持するウェハホルダ12と、その上方に位置して下面に研磨パッド21が取り付けられるヘッド部材22と、ウェハWの表面状態を測定する光学測定部30とを備えて構成される。ウェハWはウェハホルダ12に保持されて回転駆動され、ウェハの被研磨面に圧着されて相対移動される研磨パッド21との間でスラリのCMP作用により平坦に研磨加工される。光学測定部30からのプローブ光はウェハWの回転中心(特定位置)に照射され、研磨加工中の反射信号光の強度変化が測定される。本構成ではウェハWが回転しても測定位置が常に同一であり、ウェハの研磨終点を的確に判断することができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 研磨対象物を保持する対象物保持部と前記研磨対象物を研磨する研磨部材とを備え、前記研磨部材を前記対象物保持部に保持された前記研磨対象物に当接させながら前記研磨部材と前記研磨対象物とを相対移動させて前記研磨対象物の被研磨面の研磨加工を行うように構成された研磨装置において、前記被研磨面の表面状態を光学的に測定する光学測定部を有し、

前記光学測定部は前記被研磨面の研磨加工中に前記被研磨面における特定位置の表面状態を測定することを特徴とする研磨装置。

【請求項2】 前記対象物保持部は回転中心において前記被研磨面と直交する回転軸のまわりに前記研磨対象物を回転可能に構成され、

前記光学測定部は、プローブ光を前記被研磨面に照射する照明部と前記被研磨面からの反射または透過信号光検出する光検出部とを備え、前記被研磨面の前記回転中心位置にプローブ光を照射して得られる前記信号光を検出することにより、前記特定位置の表面状態を測定することを特徴とする請求項1に記載の研磨装置。

【請求項3】 前記対象物保持部は前記被研磨面と交わる回転軸のまわりに前記研磨対象物を回転可能に構成され、

前記研磨対象物の回転角度位置および前記対象物保持部の回転角度位置の少なくともいずれか一方を検出する角度位置検出部を有し、

前記光学測定部は、プローブ光を前記被研磨面に照射する照明部と前記被研磨面からの反射または透過信号光検出する光検出部とを備え、前記角度位置検出部からの検出信号に基づいて特定される位置にプローブ光を照射して得られる前記信号光を検出することにより、前記特定位置の表面状態を測定することを特徴とする請求項1に記載の研磨装置。

【請求項4】 前記角度位置検出部は前記研磨対象物に形成された特定指標を光学的に検出して前記研磨対象物の回転角度位置を検出し、

前記光学測定部は、前記角度位置検出部によって検出される前記特定指標の検出信号に基づいて前記被研磨面における特定位置の表面状態を測定することを特徴とする請求項3に記載の研磨装置。

【請求項5】 さらに前記プローブ光の前記被研磨面への照射位置を前記被研磨面の径方向に相対移動可能にするとともに、前記照射による前記反射または透過信号光を移動経路において受光可能とすることにより、前記被研磨面の回転角度位置および半径方向位置を特定した特定位置の表面状態を測定することを特徴とする請求項3または請求項4に記載の研磨装置。

【請求項6】 前記研磨部材は前記研磨部材を前記研磨対象物の径方向に移動可能に支持する移動機構を介して

前記研磨装置に取り付けられており、

前記照明部と前記光検出部とが前記移動機構に支持されて前記研磨対象物の径方向に移動可能であることを特徴とする請求項5に記載の研磨装置。

【請求項7】 前記光検出部は前記被研磨面で反射された反射光のうち0次光成分のみを選択的に取り出して前記被研磨面の表面状態を測定することを特徴とする請求項2から請求項6のいずれか一項に記載の研磨装置。

【請求項8】 対象物保持部に保持された研磨対象物を研磨部材に当接させながら前記対象物保持部と前記研磨部材とを相対移動させて前記研磨対象物の被研磨面の研磨加工を行う研磨方法において、

前記被研磨面の表面状態を光学的に測定する光学測定部を用いて前記被研磨面の研磨加工中に前記被研磨面における特定位置の表面状態の変化を測定し、

前記測定される特定位置の表面状態の測定結果に基づいて研磨加工を制御することを特徴とする研磨方法。

【請求項9】 研磨対象物は半導体ウェハであり、請求項1～請求項7のいずれか一項に記載の研磨装置を用いて前記半導体ウェハの表面を平坦化する工程を有することを特徴とする半導体デバイス製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体ウェハや石英基板、ガラス基板等の研磨対象物を研磨加工する研磨装置および研磨方法に関し、特に半導体ウェハの被研磨面を精密に平坦研磨する研磨加工に適した研磨装置、研磨方法およびこの研磨装置を用いた半導体デバイス製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】上記のような研磨対象物を研磨加工するのに好適な研磨装置としてCMP装置がある。CMP装置は従来からシリコン研磨ウェハ製造工程の最終工程である鏡面研磨加工に用いられており、ウェハ表面を化学的機械研磨（Chemical Mechanical Polishing :CMP）処理により平坦に鏡面研磨する研磨装置として用いられている。一方、半導体デバイス製造工程では集積回路の高度集積化に伴い回路パターンの微細化や多層化が進みデバイス表面が平坦でなくなってきた。また、集積回路の線幅を狭小化して集積度を上げるため、光リソグラフィに用いる光源波長の短波長化が進んでおり、半導体露光装置の焦点深度が実質的に浅くなってきている。このため、近年では立体的な多層の回路パターンを形成する過程で、半導体ウェハの表面を平坦に研磨加工するCMP（Chemical Mechanical Planarization :機械化学的平坦化、とも称される）処理が集積度向上に有望な手段と考えられており、このような研磨加工に適したCMP装置が求められている。

【0003】従来用いられてきたCMP装置は、その基本構成を図8に模式的に示すように、上面に研磨パッド

121が取り付けられた研磨定盤122と、下面にウェハを吸着保持するウェハ保持部材112とを備えて構成される。研磨定盤122は下方に垂直に延びる定盤駆動軸123に支持され、図示しない駆動機構で水平面内に回転駆動される。ウェハ保持部材112は上方に垂直に延びるウェハ回転軸113に保持されており、図示しない回転機構で水平面内に回転駆動される。またウェハ保持部材112は図示しない揺動機構で研磨定盤122の径方向に揺動される。

【0004】このように構成されるCMP装置101では、ウェハWの研磨加工は研磨定盤122とウェハ保持部材112を同一方向または反対方向に回転させ、研磨パッド121のパッド面にスラリーを供給しながらウェハ保持部材112を下降させてウェハWをパッド面に圧接し、さらにウェハ保持部材112を研磨定盤122の径方向に往復揺動させることで行う。これにより、パッド面と当接しながら相対移動されるウェハWの被研磨面が、パッド面との間に介在するスラリーの機械的および化学的研磨作用を受けて平坦に研磨加工（CMP処理）される。

【0005】研磨加工中には、その研磨状態を in-situ 計測して研磨終点を検出する終点検出が行われる。従来から行われてきた終点検出方法としてトルク検出法がある。これは、ウェハWと研磨パッド121との間の摩擦係数変化を、研磨定盤122を回転駆動するモータまたはウェハ保持部材112を回転駆動するモータのトルク電流値の変化を検出することで間接的に検出するものである。

【0006】しかしながらトルク検出法が有効に機能するのは、メタルCMPのように研磨終点近傍で摩擦抵抗が大きく変化するCMPプロセスに限定され、層間絶縁膜CMPのようにストッパを用いないCMPプロセスに適用することができない。また、この方法で間接的に検出される情報は被研磨面全体の平均化された摩擦抵抗であるため、研磨のばらつきが大きいときには信号変化が明確に現れず、研磨終点を検出できない場合があるという問題があった。

【0007】そこで、近年ではウェハWの表面状態を直接光学的に計測して終点検出を行う研磨装置が考案されている。この研磨装置102は図9に略示するように、研磨定盤122の一部に孔部を設けるとともに、研磨パッド121に透光部125を設け、研磨定盤122の裏側に配設した光学測定装置130からウェハWの被研磨面にプローブ光を照射し、反射光を検出してその強度変化やスペクトル分布から終点検出を行うものである。

【0008】このような研磨装置によれば、メタルCMPやSTI-CMPのみならず層間絶縁膜CMPのようにストッパを用いないCMPプロセスに対しても終点検出を行うことが可能である。また、この方法で検出される情報は被研磨面全体の平均化された情報ではなく、プ

ローブ光が照射するスポット領域の情報であるため、確実に研磨終点を検出できると考えられていた。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した研磨装置102で種々のウェハについて繰り返し研磨加工を実施してみると、ウェハごとに研磨終了点がわずかずつ異なっていることが見出されてきた。すなわち、理想とする研磨終了状態に対して過剰研磨や研磨不足のウェハが見出されるのである。これは、終点検出の判定が理想的な研磨終了点に対してばらついていることを意味し、このばらつきを抑制して判定精度を向上させることが、CMPプロセスの効率的な管理およびCMP装置のスループットを向上させるうえで重要な技術的課題になっていた。

【0010】本発明は、上記課題に鑑みて成されたものであり、研磨加工中に高精度に研磨終了点を判定することができる研磨方法および研磨装置を提供することを目的とする。

【0011】本発明はさらに、このような研磨装置を用いた半導体デバイスの製造方法を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、発明者はまず終点検出の判定が理想的な研磨終了点に対してばらつく理由について検討し、以下の要因を見出した。第1の要因は、ウェハにおけるダイ領域（チップ領域）の位置やダイ領域内のパターン位置によって成膜状態や研磨レートが異なることである。すなわち、ウェハに形成されたダイ領域（チップ領域）には描画密度や精細度が異なる様々なパターンが存在しており、このパターンの疎密に応じて研磨レートが異なっている。また、比較的均一なパターンを有する場合であっても、ウェハ上におけるダイ領域の位置によって成膜厚さや研磨レートが異なる場合があるのである。

【0013】なお、本明細書にいう「ダイ領域（チップ領域）」とは、ウェハ上にストリートで区画され形成されたデバイスパターンの形成領域をいい、ダイシング後に一つのダイ（チップ）を構成する領域をいう。

【0014】第2の要因は、光学測定装置130で測定した表面状態がどの位置の表面状態であるか明確でない点である。すなわち、測定位置がウェハ面上におけるどのダイ領域であるのか、またダイ領域におけるどのパターン位置であるのかが従来では不明であった点である。

【0015】このため、従来の研磨装置では光学測定装置130が研磨レートが速い位置（ダイ領域やパターン位置）を測定したときには研磨終了点が早まり、その結果として全体的に研磨不足が生じ、逆に研磨レートが遅い位置を測定したときには研磨終了点が遅れて全体的に過剰研磨が生じていたのである。以上の検討結果から発明者は前記目的を達成するため以下に示す解決手段を発

明した。

【0016】本発明は、研磨対象物（例えば実施形態におけるウェハW）を保持する対象物保持部（例えば実施形態におけるウェハホルダ12）と研磨対象物を研磨する研磨部材（例えば実施形態における研磨パッド）とを備え、研磨部材を対象物保持部に保持された研磨対象物に当接させながら研磨部材と研磨対象物とを相対移動させて研磨対象物の被研磨面の研磨加工を行うように構成された研磨装置において、被研磨面の表面状態を光学的に測定する光学測定部を有し、光学測定部が被研磨面の研磨加工中に被研磨面における特定位置の表面状態を測定するように研磨装置を構成する。

【0017】上記構成の研磨装置には、被研磨面の表面状態を光学的に測定する光学測定部が設けられており、この光学測定部は研磨加工中に被研磨面の特定位置の表面状態を測定する。ここで、「被研磨面の特定位置」とは、被研磨面上に特定される所定の位置をいい、例えば上述した半導体ウェハの例においては、ウェハ面上における特定（特定番地）のダイ領域や、特定のダイ領域内における特定のパターン位置、あるいはダイ領域外に設けた特定の基準領域等をいう。本構成によれば、光学測定部が常に被研磨面上の特定位置の表面状態を測定するため、被研磨面の表面状態の変化を的確に捉えることができ、従って、研磨加工中に高精度に研磨終了点を判定可能な研磨装置を得ることができる。

【0018】なお、対象物保持部は回転中心において被研磨面と直交する回転軸（例えば実施形態における回転軸A）のまわりに研磨対象物を回転可能に構成され、光学測定部は、プローブ光を被研磨面に照射する照明部と被研磨面からの反射または透過信号光を検出する光検出部とを備え、前記被研磨面の回転中心位置にプローブ光を照射して得られる信号光を検出することにより、特定位置の表面状態を測定するように研磨装置を構成してもよい。

【0019】研磨対象物が対象物保持部に保持されて回転駆動される研磨装置では、回転周上にある各位置が研磨対象物の回転に伴って回転移動する。しかし、回転中心位置だけはその回転駆動によって移動変化しない。本構成ではこの移動変化しない回転中心位置を特定位置として規定し、光学測定部がこの特定位置にプローブ光を照射して表面状態を測定する。従って、上記構成によれば、極めて簡明な構成で被研磨面の表面状態の変化を的確に捉えることができる。

【0020】また、対象物保持部は被研磨面と交わる回転軸のまわりに研磨対象物を回転可能に構成され、研磨対象物の回転角度位置および対象物保持部の回転角度位置の少なくともいずれか一方を検出する角度位置検出部を有し、光学測定部は、プローブ光を被研磨面に照射する照明部と被研磨面からの反射または透過信号光を検出する光検出部とを備え、角度位置検出部からの検出信号に

基づいて特定される位置にプローブ光を照射して得られる信号光を検出することにより、特定位置の表面状態を測定するように研磨装置を構成しても良い。

【0021】上記構成の研磨装置では、角度位置検出部が研磨対象物の回転角度位置および対象物保持部の回転角度位置の少なくともいずれか一方を検出し、光学測定部が角度位置検出部からの検出信号に基づいて特定される特定位置の表面状態を測定する。このため、上記構成の研磨装置によれば、プローブ光が照射される同一円周上において、回転角度位置を特定することにより常に一定位置を特定することができ、このように特定される特定位置の表面状態の変化を的確に捉えることができる。

【0022】なお、上記角度位置検出部は研磨対象物に形成された特定指標を光学的に検出して研磨対象物の回転角度位置を検出し、光学測定部は角度位置検出部によって検出される特定指標の検出信号に基づいて被研磨面における特定位置の表面状態を測定するように研磨装置を構成することができる。

【0023】ここで、「研磨対象物に形成された特定指標」とは、例えば、半導体ウェハにおけるオリエンテーションフラット（Orientation flat）やノッチ（Notch）、アライメントマーク（Alignment mark）等の指標をいい、ダイ領域外に新たに設けた位置検出用の指標（例えば光学反射領域等）であっても良い。このような構成の研磨装置によれば、研磨対象物に形成された特定指標を角度位置の基準として直接利用するため、被研磨面上の位置の特定を容易に行い、且つ特定位置の位置精度を向上させることができる。また角度位置検出部に他の被検出部を設ける必要がないため、研磨装置を簡明化することができる。

【0024】さらに、プローブ光の被研磨面への照射位置を被研磨面の径方向に相対移動可能にするとともに、照射による反射または透過信号光を移動経路において受光可能とすることにより、被研磨面の回転角度位置および半径方向位置を特定した特定位置の表面状態を測定するように研磨装置を構成することも好ましい。

【0025】上記構成によれば、被研磨面が回転軸まわりに回転されて同一周上の特定位置の表面状態を測定可能なほか、測定位置が被研磨面の径方向に相対移動可能に構成されて、被研磨面の回転角度位置および半径方向位置を特定した特定位置の表面状態を測定する。このため、一定の回転円周のみならず被研磨面上の任意の位置を特定して当該特定位置の表面状態の変化を的確に捉えることができる。

【0026】なお、研磨部材は研磨部材を研磨対象物の径方向に移動可能に支持する移動機構を介して研磨装置に取り付けられ、上記照明部と光検出部とが移動機構に支持されて研磨対象物の径方向に移動可能に研磨装置を構成することができる。このような構成によれば照明部と光検出部とを移動させる移動機構を別個独立して設け

ることなく被研磨面上の任意位置を特定して測定可能な上記研磨装置を構成することができる。

【0027】なお、光検出部は被研磨面で反射された反射光のうち0次光成分のみを選択的に取り出して被研磨面の表面状態を測定するように研磨装置を構成することが好ましい。

【0028】また、本発明に係る研磨方法は、対象物保持部に保持された研磨対象物を研磨部材に当接させながら対象物保持部と研磨部材とを相対移動させて研磨対象物の被研磨面の研磨加工を行う研磨方法において、被研磨面の表面状態を光学的に測定する光学測定部を用いて被研磨面の研磨加工中に被研磨面における特定位置の表面状態の変化を測定し、測定される特定位置の表面状態の測定結果に基づいて研磨加工を制御する。

【0029】以上のように構成された研磨装置による研磨対象物としては半導体ウェハがあり、本発明に係る半導体デバイス製造方法は、以上のような構成の研磨装置を用いて半導体ウェハの表面を平坦化する工程を有して構成される。

【0030】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の好ましい実施形態について説明する。説明では、まずダマシンプロセス(Damascene process)において埋め込んだ金属膜をメタルCMPで平坦化し電極配線を形成する場合について説明する。本発明の第1実施形態に係るCMP装置1はその概要構成を図1に示すように、上面にウェハWを吸着保持するウェハテーブル10と、その上方に位置して下面に研磨パッド21が取り付けられる研磨ヘッド20と、ウェハWの表面状態を測定する光学測定部30とを備えて構成され、ウェハWの中心位置の表面状態を測定して研磨加工を行うCMP装置である。

【0031】ウェハテーブル10は、ウェハホルダ12とこのウェハホルダ12から下方に垂直に延びてウェハホルダ12を支持するホルダ駆動軸13とを有して構成され、図示しない回転駆動機構によりホルダ駆動軸13の回転軸Aまわりに回転駆動される。ウェハホルダ12の上面には、ウェハWを背面側から吸着保持する保持機構が設けられるとともに、ウェハWの中心をウェハホルダ12の回転軸Aに一致させるリテーナリングが設けられている(ともに不図示)。これによりウェハWはその中心位置が回転軸Aと一致するように吸着保持され、回転駆動機構により所定の回転速度で水平に回転される。

【0032】研磨ヘッド20は、下面に研磨パッド21が取り付けられるヘッド部材22と、このヘッド部材22を支持して上方に垂直に延びるスピンドル軸23とを有して構成され、スピンドル軸23が図示しない回転駆動機構により回転軸Bまわりに回転駆動されて、下端に取り付けられた研磨パッド21を所定の回転速度で水平に回転させる。

【0033】ウェハWの研磨加工はウェハホルダ12と

ヘッド部材22を同一方向または反対方向に回転させ、研磨パッド21の中心からスラリーを供給しながら研磨ヘッド20を下降させて研磨パッド21をウェハWの被研磨面に圧接し、さらに研磨ヘッド20をウェハWの中心部と外周部との間を半径方向に往復揺動させることで行う。これにより、ウェハWの被研磨面がパッド面との間に介在するスラリーの機械的および化学的研磨作用を受けて平坦に研磨加工される。

【0034】このCMP装置1では、図示するように研磨パッド21の直径をウェハWの直径よりも小さく構成している。このため、このような形態のCMP装置によれば、前述した従来のCMP装置に比べて装置全体を小型に構成することができる。また、このようなCMP装置では研磨パッド21が研磨加工を行っている領域を除いてウェハWの被研磨面が露出される。このため、ヘッド部材22(従来技術における研磨定盤122)に孔を設けたり研磨パッドに透光部を設けたりすることなく、被研磨面の表面状態を測定することができる。

【0035】第1実施形態に係るCMP装置1では、ウェハ上の特定位置を計測する手段としてウェハWの回転中心位置の表面状態を光学測定部30で測定する。

【0036】光学測定部30は、光源31、ビームスプリッタ32、反射光検出器33および図示しないレンズ光学系などからなり、光源31から射出されたプローブ光を回転軸Aに沿ってウェハWの中心位置に照射し、被研磨面上に所定スポット径(例えば $\phi 100\mu\text{m}$ ~数百 $\mu\text{m}$ 程度)の円形のビームスポットを形成する。ウェハWからの反射信号光はビームスプリッタ32で反射され、反射光検出器33で受光される。光学測定部30は、反射光検出器33で検出される反射信号光の光強度と図示しないプローブ光検出器で検出されるプローブ光の信号強度からプローブ光に対する反射信号光の光強度の比、すなわち被研磨面の反射率を測定する。

【0037】ウェハWは、前述したリテーナの作用によりウェハWの中心位置が回転軸Aと一致するように位置決めされてウェハホルダ12に吸着保持されている。このため、光源31から射出されるプローブ光は、ウェハWの着脱を行っても必ずウェハWの中心位置に照射され、またプローブ光が回転軸A上に照射されるため、ウェハWが回転駆動されてもウェハ面上における測定スポット位置が変化することがない。従って、このような手段によりウェハWの中心位置を特定してその表面状態の変化を測定することができる。

【0038】ここで、ダマシンプロセスにおけるメタルCMPで、一定の配線パターンを有するウェハを連続して研磨加工したときに上記同様の光学測定部30で検出される反射率Rの変化を図5に示す。研磨加工を開始した当初のウェハ表面には全面に金属層が形成されており、光学測定部30で検出される反射率は高い値 $R_0$ の状態ではほとんど変化しない。一方、一定程度金属層の研

磨加工が進むと、徐々に下地のバリア層（ストップ層）が露出してくるため、検出される反射率は研磨加工の進行に伴い徐々に小さくなって行く。そして余分な金属層が除去されると金属電極の面積が変化しなくなるため、反射信号光の反射率も低い値  $R_0$  で変化しなくなる。従って、このように検出される反射率  $R$  を検出してその変化を測定することにより、反射率が所定の反射率（例えば、図における  $R_0$ ）に到達したときに研磨加工の終了点すなわち研磨終点を判定することができる。

【0039】本実施形態に係るCMP装置1においては、光学測定部30はウェハの中心位置が研磨ヘッド20の揺動により研磨パッド21で覆われている間を除き、同一位置（ウェハ中心位置のダイ領域、特定ダイ領域内のパターン位置）の表面状態を連続して計測している。従って、光学測定部30で検出される反射率の変化特性は、ウェハの中心位置が研磨パッド21で覆われている間を除き上記図5に示した特性と相似する特性となる。

【0040】また、光学測定部30が測定している被研磨面上のパターンは、ウェハ中心位置のパターンとして特定されるため、当該パターンにおいて研磨終点到相当する反射率の値  $R_0$  も既知である。従って、予め光学測定部30に上記反射率の値  $R_0$  を判定基準値として設定しておくことにより、ウェハWを着脱交換しても的確かつ高精度に研磨終点を判定することができる。

【0041】このようにして判定された研磨終点は、CMP装置1の作動を制御する作動制御装置80に出力され、作動制御装置80はこの判定信号に基づいて研磨加工を終了させる。従って、このようなCMP装置によって研磨加工されたウェハには研磨終了状態のばらつきがなく、CMPプロセスを効率的に管理してCMP装置のスループットを向上させることができる。

【0042】次に、本発明の第2実施形態に係るCMP装置について図2を参照して説明する。このCMP装置2は、上面にウェハWを吸着保持するウェハテーブル10と、その上方に位置して下面に研磨パッド21が取り付けられる研磨ヘッド20と、ウェハWの表面状態を測定する光学測定部30と、ウェハWの回転角度位置を検出する角度位置検出部40とを備えて構成され、ウェハW中心から一定半径上にある特定位置の表面状態を測定して研磨加工するCMP装置である。

【0043】なお、本実施形態におけるウェハテーブル10と研磨ヘッド20の構成、および光学測定部30の内部構成は前述の第1実施形態と同一であるため、同一部分に同一番号を付して重複説明を省略する。

【0044】このCMP装置2では、光学測定部30のプロブ光照射位置がウェハホルダ12の回転軸A上ではなく、回転軸Aから所定の半径距離  $r_1$  だけ離れた位置に設定されている。従って、光学測定部30から照射されるプロブ光は、ウェハホルダ12が回転駆動され

たときに、ウェハWの中心位置から半径  $r_1$  の同一円周上に位置するダイ領域およびパターンをトレースする。

【0045】このため、ウェハWの回転（測定位置の変化）に伴って検出される反射率は変化し、その周期はウェハWの1回転を周期として変化する周期的な信号（マイクロな変化信号）になる。一方、研磨加工中には、研磨加工の進展に伴って被研磨面の各位置の反射率がそれぞれ図5に示すように変化する（マクロな変化信号）。この変化はウェハWの被研磨面全体で同様に生じることから、研磨加工中に連続測定を行ったときには、図5に示すマクロな反射率変化特性に上記マイクロな変化信号を付加したような反射率変化信号になる。

【0046】このようにして検出される反射率の変化信号は、上記マクロな変化特性の集合体であることから、半径  $r_1$  の回転円周上の位置（ダイ領域またはパターン位置）を特定して当該特定された位置の信号のみを抜き出すことにより、その特定位置の反射率変化特性（図5同様のマクロな反射率変化特性）を得ることができる。角度位置検出部40はウェハWの回転角度  $\theta$  を特定することにより  $r_1$ 、 $\theta$  でウェハ面上の位置を特定するための装置である。

【0047】角度位置検出部40は、光源41とこの光源41からの光を検出する検出器42とを有して構成される。光源41から射出された光は所定の入射角度でウェハ表面の外周縁部に入射するように照射され、照射位置にウェハWがあるときにウェハ表面で反射された反射光が検出器42に入射し、照射位置にウェハWが無いときに検出器42に光源41からの光が入射しない（または検出強度が低くなる）ようにアライメントされている。

【0048】このため、ウェハホルダ12にウェハWが保持されて回転駆動されると、照射位置をウェハWが通過している間は検出器42で反射光が検出され、照射位置をウェハWに形成されたノッチまたはオリエンテーションフラットが通過している間には反射光が検出されない。従って、検出器42で検出される光強度を計測することで、ウェハWのノッチ等が通過する瞬間を検出することができ、この検出信号によりウェハWの角度位置を特定することができる。角度位置検出部40で検出される信号は光学測定部30に出力される。

【0049】光学測定部30では、角度位置検出部40から入力される信号をトリガとして用い、半径  $r_1$  の回転円周上の角度位置  $\theta$  を特定する。例えば、光学測定部30の測定位置と角度位置検出部40の検出位置とが回転軸Aを含む同一直線上にあり、角度位置検出部40がノッチを検出したとき（例えば検出器42の信号の立下がりまたは立上がり時）のウェハWの角度位置を  $\theta = 0$  度と規定すれば、このノッチの検出時に光学測定部30が計測する反射率  $R$  は、半径  $r_1$ 、角度位置  $\theta = 0$  度の位置（ $r_1$ 、 $\theta_0$  で特定される特定位置）のパターンの反



射率である。

【0050】光学測定部30では、反射光検出器31で検出される反射率変化信号から、このようにして特定される特定位置( $r_1, \theta_0$ )の反射率信号のみを取り出して当該特定位置の反射率の変化を測定する。この場合に、得られる特定位置の測定データは、ウェハ1回転につき1回のサンプリングであるため離散的な反射率変化データとなるが、反射率が変化する領域の時間幅(図5において反射率が $R_a$ から $R_b$ に変化する時間幅)に対してサンプリング間隔が十分に短いため、実質的に図5と同様の反射率変化特性を得ることができる。

【0051】また、ノッチの検出信号から一回転周期内の所定の遅延時間 $t$ (ディレイ)において計測される反射率は、ウェハWの半径 $r_1$ 上において $\theta=0$ の角度位置から当該ディレイに相当する回転角度分回転した角度位置 $\theta_c$ のパターンの反射率である。従って、反射光検出器31で検出される反射率変化信号から、特定位置( $r_1, \theta_c$ )の反射率信号のみを取り出すことで、ウェハWの半径 $r_1$ 上の任意の位置を特定して当該特定位置の反射率の変化を測定することができる。

【0052】光学測定部30は、このようにして得た特定位置の反射率変化特性から前述の実施例と同様にして研磨終点を判定する。従って、以上のように構成されるCMP装置2によれば、所定の半径上に位置する任意の位置(ダイ領域やパターン位置)を単数または複数特定して的確に研磨終点を判定することができる。

【0053】また、CMP装置2では光学測定部30でウェハWの中心位置をモニターする必要がある。従って、研磨ヘッド20の揺動範囲以外の適宜な半径位置を測定することで、光学測定部30の測定スポットが研磨パッド21で覆われることがなく、反射率測定が中断されることがない。このため、研磨加工中の膜厚変化をより細かくリアルタイムで測定することができ、高精度の終点検出を行うことができる。これにより、研磨終了状態にばらつきのないウェハを生産することができ、CMPプロセスを効率的に管理してスループットを向上させることができる。

【0054】なお、以上説明した実施例では、ウェハWの角度位置を検出する手段として、角度位置検出部40でウェハWのノッチまたはオリエンテーションフラットを検出する実施例を開示したが、角度位置検出手段はウェハWの角度位置 $\theta$ を特定可能であればよく、ウェハホルダ12の回転角度位置から間接的にウェハの角度位置を特定するものであっても良い。

【0055】例えば、ウェハWのノッチ位置と一定の関係有するウェハホルダ12の上面位置や裏面位置、外周面等に小型のミラーを取り付け、このミラーの回転周上を角度位置検出部40でモニターするように構成すれば、ウェハホルダ12の回転によりミラーが光源41の照射位置を通過するときに反射光の強度が高くなるた

め、この反射信号をトリガとして用いることで上述の実施例と同様に構成することができる。また、角度位置検出手段は、近接センサや磁気センサ等を用いて構成するものでも良く、ウェハホルダ12の回転角度をロータリエンコーダ等で検出するものであっても良い。

【0056】次に、本発明の第3実施形態に係るCMP装置について図3を参照して説明する。このCMP装置3は、ウェハテーブル10、研磨ヘッド20、光学測定部30およびウェハ角度位置検出部40を備えるCMP装置2に対して、光学測定部30を研磨ヘッド20に取り付けることでウェハWの半径方向に移動可能に設け、この移動経路上にある特定位置の表面状態を測定して研磨加工するCMP装置である。

【0057】すなわち、CMP装置3では光学測定部30が連結部材26を介して研磨ヘッド20に取り付けられており、研磨ヘッド20の揺動動作に伴ってウェハWの半径方向に往復移動(揺動)可能に構成されている。研磨ヘッド20の揺動動作範囲は、光学測定部30の測定スポットがウェハWの中心(半径 $r=0$ )と外周縁部( $r=r_g$ )との間を往復移動するように設定される。研磨ヘッド20の揺動機構にはヘッドの揺動位置を検出する揺動位置検出部が設けられており、この検出部で検出された揺動位置検出信号が光学測定部30に入力される。

【0058】光学測定部30は、揺動位置検出部から入力される揺動位置検出信号から、ウェハWに対する測定スポットの半径方向位置 $r$ を求めるとともに、角度位置検出部40から入力されるノッチの検出信号を基準として測定スポットの角度位置 $\theta$ を定める。ウェハW上にあるすべてのダイ領域およびダイ領域内のパターン位置は、上記二つの検出信号 $r$ と $\theta$ とから、例えば( $r_0, \theta$ )や( $r_1, \theta_c$ )のように特定され、反射光検出器31で検出される反射率変化信号から、このようにして特定される特定位置の反射率信号を取り出すことで、ウェハW上の任意の位置を特定して当該特定位置の反射率の変化を測定することができる。

【0059】CMP装置3では、光学測定部30が研磨ヘッド20とともに揺動移動し、その移動経路 $r_0 \sim r_g$ 上を通過するパターンの反射率を計測する。従って、ウェハホルダ12の回転速度をヘッド部材22の揺動移動速度よりも充分大きくし、あるいはこれらを同期制御することで、任意半径上にある同一位置(ダイ領域やパターン位置)を特定して反射率変化を測定することができる。このように特定される特定位置は光学測定部30の移動範囲に複数設けることができ、ウェハ上の複数の半径位置で反射率の変化特性を測定することができる。

【0060】ウェハWを回転させて研磨加工を行う回転系の研磨装置では、被研磨面の研磨膜厚のばらつきは、前述した配線パターンの違いによるばらつきの他に、一般的にウェハの半径方向位置に関連した同心円状のばら

つきが存在する。

【0061】CMP装置3では、異なる半径距離にある複数の特定位置の反射率計測が可能のため、上記同心円状の膜厚のばらつきまで測定することができる。従って、被研磨面全体の膜厚のばらつきを考慮した的確な研磨終点の判定を行うことが可能になり、研磨品質の高いウェハを生産することができる。これにより、CMPプロセスを効率的に管理してスループットを向上させることができる。

【0062】次に、本発明の第4実施形態に係るCMP装置について図4を参照して説明する。このCMP装置4は、上述した第3実施形態のCMP装置3と異なり、光学測定部30を独立した揺動機構によりウェハWの半径方向に移動可能に設けて、この移動経路上にある特定位置の表面状態を測定して研磨加工するCMP装置である。なお、ウェハテーブル10、研磨ヘッド20、光学測定部30の内部構成およびウェハ角度位置検出部40等は既述した各実施例と同様である。

【0063】CMP装置4では光学測定部30が、図示しない揺動機構によりウェハWの半径方向に往復移動（揺動）可能に構成されており、光学測定部30の測定スポットがウェハWの中心（半径 $r=0$ ）と外周縁部（ $r=r_E$ ）との間を適宜な移動条件で往復移動可能に配設されている。揺動機構には光学測定部30の移動位置を検出する移動位置検出部が備えられており、その検出信号が光学測定部30に入力されている。

【0064】光学測定部30は移動位置検出部から入力される検出信号から、ウェハW上における測定スポットの半径方向位置 $r$ を求め、またウェハ角度位置検出部から入力されるノッチの検出信号を基準として測定スポットの角度位置 $\theta$ を定める。前述したように、ウェハW上にあるすべてのダイ領域およびダイ領域内のパターン位置は、上記二つの検出信号 $r$ と $\theta$ とから $(r, \theta)$ として特定され、反射光検出器31で検出される反射率変化信号から、このようにして特定される特定位置の反射率信号を取り出すことで、ウェハ上の任意の位置を特定して当該特定位置の反射率の変化を測定することができる。

【0065】CMP装置4では、光学測定部30が独自の移動機構を有しているため、その移動速度や停止位置を任意に設定することができる。このため、ウェハホルダ12の回転速度と研磨ヘッド20の揺動速度との関係（研磨条件）等に左右されることなく、別個独立した測定条件を設定することができる。例えば、光学測定部30の移動をウェハホルダの回転速度と同期させて移動計測を行い、あるいは光学測定部30を断続的に移動させて同一半径上の多点計測や同一特定位置の複数回サンプリングを行うこと、所定の半径範囲に対して重み付けした計測を行うこと、などが可能である。

【0066】このため、独立した駆動系を有するCMP

装置4によれば、研磨加工と並行して別個独立にウェハ上の任意位置の反射率計測が可能のため、前述したCMP装置3と同様にウェハ全面の反射率を計測して同心円状の膜厚のばらつきを測定することができ、さらに、残膜厚の厚い部分について反射率をモニターしながら重点的に研磨加工させる等、よりきめ細かな加工制御を行うことができる。従って、被研磨面全体の膜厚のばらつきを補正しつつ的確な研磨終点の判定を行うことが可能な研磨装置を構成でき、研磨品質の高いウェハを生産することができる。また、これにより、CMPプロセスを効率的に管理して高スループットのCMP装置を提供することができる。

【0067】なお、以上の各実施例では、研磨対象物として半導体ウェハを例示し、このウェハを平坦に研磨加工する場合について説明したが、研磨対象物は他の基板、例えば石英基板やガラス基板等であっても良く、また被研磨面の形状は回転対称であれば曲面（例えば凸断面や凹断面の曲面）であっても良い。

【0068】また、CMP装置として、ヘッド部材22の直径がウェハホルダ22の直径よりも小さく、ウェハの被研磨面が上方に開いて位置する形態の研磨装置を例示したが、本発明はかかる形態の研磨装置に限定されるものではなく、例えば、上下の配置や大きさ等が逆であっても良く、また図9に示したような従来の研磨装置についても適用可能である。

【0069】また以上の各実施形態では、メタルCMPの研磨プロセスについて、光学測定部30が被研磨面の反射率を測定することにより研磨終点を検出する例を説明したが、本発明の研磨装置に係る研磨プロセスに限定されるものではなく、層間絶縁膜や素子分離（Shallow Trench Isolation : STI）の絶縁膜を平坦化する絶縁膜CMPの研磨プロセスについても適用可能である。

【0070】図6は、絶縁膜CMPの研磨プロセスにおいて被研磨面の絶縁膜の膜厚を測定して研磨終点を検出するのに好適な光学測定部50の構成例を示しており、これまでに説明したCMP装置1～4の光学測定部30に代えて、または光学測定部30に加えて配設することにより、絶縁膜CMPの終点検出を的確に行うことができるCMP装置を構成する。

【0071】光学測定部を置き換えた場合のCMP装置の全体構成および作動状態は、以上説明したCMP装置1～4と同様となるため重複説明を省略し、以下、光学測定部50の構成および作用について説明する。

【0072】光学測定部50は、光源51、光源から射出されたプローブ光をウェハW上に導く照明系のレンズ52、53、54、光源51から射出されたプローブ光を透過しウェハWからの反射信号光を反射させるビームスプリッタ55、ビームスプリッタで折り返された反射信号光を導く測定系のレンズおよびミラー61、62、63、65、スリット64、回折格子66、反射信号光

の強度分布を検出するリニアセンサ67およびリニアセンサ67から検出信号を受けて演算処理する演算処理装置68などから構成される。

【0073】光源51は多波長成分をもつ白色光源であり、キセノンランプやハロゲンランプ等のランプや白色LED等を用いることができる。光源51から射出されたプローブ光はレンズ52でコリメートされ、レンズ53およびビームスプリッタ55を透過した後、レンズ54で略平行光にコリメートされ、ウェハWに垂直入射してウェハ面上に所定スポット径（例えば $200\mu\text{m}$ ～数mm程度）のビームスポットを形成する。

【0074】ウェハWからの反射信号光のうち、正反射光（0次光）はレンズ54を透過してビームスプリッタ55で反射され、正反射光をコリメートするレンズ61でほぼ平行光にされ、ミラー62、レンズ63を介してスリット64を通り、レンズ65で再びコリメートされた後回折格子66に入射する。回折格子66では波長に応じた回折角で回折され、リニアセンサ67に入射する。

【0075】さて、デバイスパターンが形成されたウェハからの反射信号光について考えると、反射信号光には正反射光以外に光量的に無視できない多数の回折スポットが存在する。回折スポットは、パターンのピッチ（微細構造周期） $d$ 、光の波長 $\lambda$ および回折次数 $n$ （ $n=0, 1, 2, \dots$ ）に応じて、次式で示される回折角度 $\theta$ 方向に発生する。

【0076】

$$\text{【数1】 } d \sin \theta = n \lambda$$

【0077】光学測定部50では、回折光は正反射光（0次光）と異なる角度 $\theta$ をもってウェハWから反射するため、正反射光と異なる入射角でレンズ63に入射し、レンズ63の焦点と異なる方向に屈折される。スリット64は正反射光が結ぶレンズ63の焦点位置に配設されており、正反射光以外の反射光はこのスリット64により遮光される。このため、回折光は回折格子66に到達することができず、回折格子66には正反射光のみが入射し、その波長に応じた回折角で回折される。

【0078】このようにしてリニアセンサ67に入射する正反射光は、回折格子66で波長に応じて回折され分光されているため、波長成分ごとの光強度、すなわち分光強度分布が検出され、演算処理装置68に入力される。この分光強度分布からは回折光が除去されており、パターンのピッチによる影響を考慮しなくても良いので演算処理が簡単になる。

【0079】演算処理装置68は入力される分光強度分布から膜厚を求める。例えば、ウェハWの表面に $\text{SiO}_2$ の層間絶縁膜が形成されている場合についてみると、この層間絶縁膜で反射される白色光の反射率は膜厚に応じた分散特性を持ち、各膜厚に対する分光強度分布の特性は既知である。演算処理装置68は予め設定された膜厚

に対する分光強度分布の特性データと、リニアセンサ67から入力される分光強度分布とを比較してフィッティングする演算処理を行い、層間絶縁膜の膜厚を求める。この際に予め計測された光源51の分散強度情報が参照される。

【0080】従って、このようにして求められるウェハWの膜厚変化をモニターすることでウェハが所定量研磨されて加工終点に達したか否かを判定することができ、これにより層間絶縁膜の平坦化すなわち絶縁膜CMPについても、前述したメタルCMPと同様に実施することができる。

【0081】次に、本発明に係る半導体デバイスの製造方法の実施例について説明する。図7は半導体デバイスの製造プロセスを示すフローチャートである。半導体製造プロセスをスタートすると、まずステップS200で次に挙げるステップS201～S204の中から適切な処理工程を選択し、いずれかのステップに進む。

【0082】ここで、ステップS201はウェハの表面を酸化させる酸化工程である。ステップS202はCVD等によりウェハ表面に絶縁膜や誘電体膜を形成するCVD工程である。ステップS203はウェハに電極を蒸着等により形成する電極形成工程である。ステップS204はウェハにイオンを打ち込むイオン打ち込み工程である。

【0083】CVD工程（S202）もしくは電極形成工程（S203）の後で、ステップS206に進み、CMP工程を行うかどうか判断する。行わない場合にはステップS207に進むが、行う場合にはステップS205に進む。ステップS205はCMP工程である。CMP工程では本発明による研磨装置（CMP装置）により、層間絶縁膜の平坦化や半導体デバイス表面の金属膜の研磨によるダマシンの形成等が行われる。

【0084】CMP工程（S205）もしくは酸化工程（S201）の後でステップS207に進む。ステップS207はフォトリソグラフィ工程である。この工程ではウェハへのレジストの塗布、露光装置を用いた露光によるウェハへの回路パターンの焼き付け、露光したウェハの現像が行われる。さらに、次のステップS208は現像したレジスト像以外の部分をエッチングにより削り、その後レジスト剥離が行われ、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除くエッチング工程である。

【0085】次に、ステップS209で必要な全工程が完了したかを判断し、完了していなければステップS200に戻り、先のステップを繰り返してウェハ上に回路パターンが形成される。ステップS209で全工程が完了したと判断されればエンドとなる。

【0086】本発明による半導体デバイス製造方法では、CMP工程において本発明にかかる研磨装置を用いているため、CMP工程のスループットが向上する。これにより、従来の半導体デバイス製造方法に比べて低コ

ストで半導体デバイスを製造することができるという効果がある。なお、上記半導体デバイス製造プロセス以外の半導体デバイス製造プロセスのCMP工程に本発明による研磨装置を用いても良い。また、本発明による半導体デバイス製造方法により製造された半導体デバイスは、高スループットで製造されるので低コストの半導体デバイスとなる。

【0087】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る研磨装置によれば、被研磨面の表面状態を光学的に測定する光学測定部を有し、この光学測定部が研磨加工中に被研磨面に特定された特定位置の表面状態を測定するため、被研磨面の表面状態の変化を的確に捉えることができる。従って、研磨加工中に高精度に研磨終了点を判定可能な研磨装置を得ることができ、これにより、CMPプロセスを効率的に管理して高いスループット有する研磨装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態に係る研磨装置を示す概要構成図である。

【図2】本発明の第2実施形態に係る研磨装置を示す概要構成図である。

【図3】本発明の第3実施形態に係る研磨装置を示す概要構成図である。

【図4】本発明の第4実施形態に係る研磨装置を示す概

要構成図である。

【図5】メタルCMPプロセスにおいて研磨加工時に検出される被研磨面の反射率変化特性を示す説明図である。

【図6】上記各研磨装置における光学測定部の他の実施形態を示す構成図である。

【図7】本発明に係る半導体製造プロセスを示すフローチャートである。

【図8】従来の研磨装置を示す概要構成図である。

【図9】従来の研磨装置の他の構成例を示す概要構成図である。

【符号の説明】

W ウェハ（研磨対象物）

1, 2, 3, 4 CMP装置（研磨装置）

10 ウェハテーブル

12 ウェハホルダ（対象物保持部）

20 研磨ヘッド

21 研磨パッド（研磨部材）

30 光学測定部

31 光源（照明部）

33 反射光検出器（光検出部）

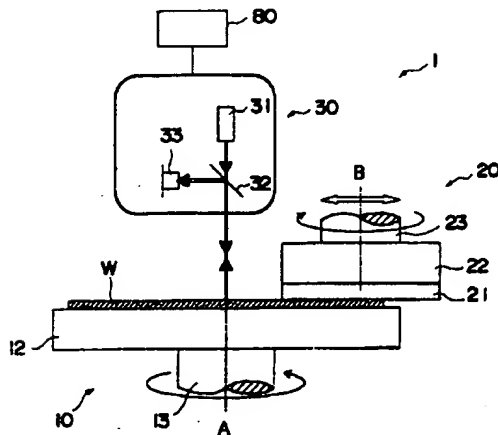
40 角度位置検出部

50 光学測定部

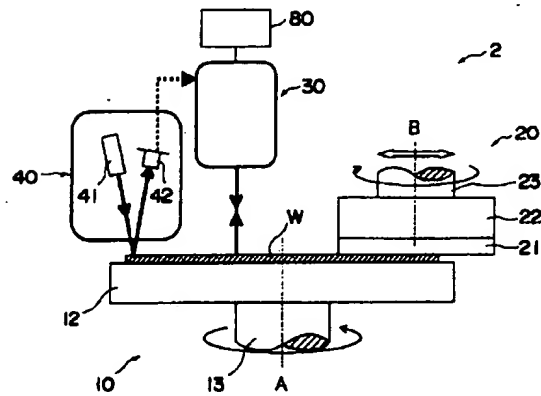
51 光源（照明部）

67 リニアセンサ（光検出部）

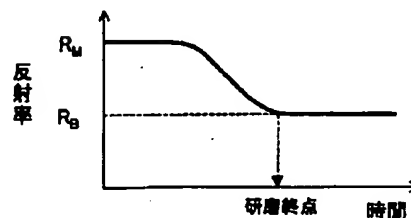
【図1】



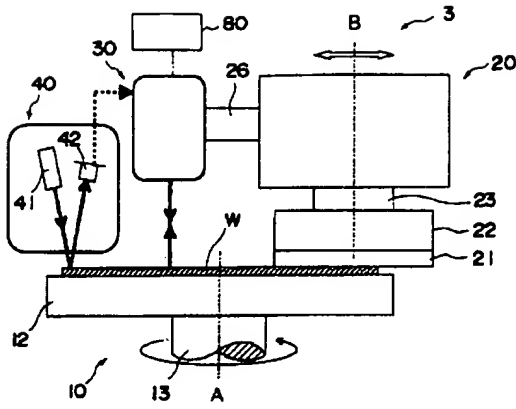
【図2】



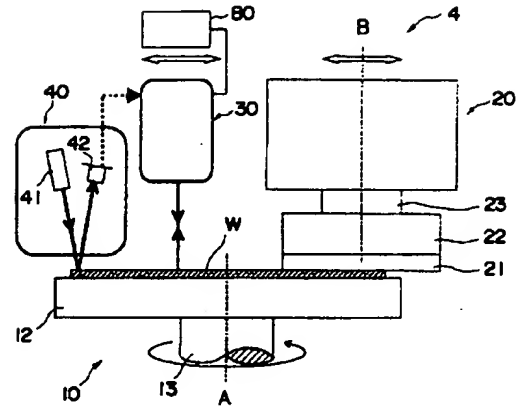
【図5】



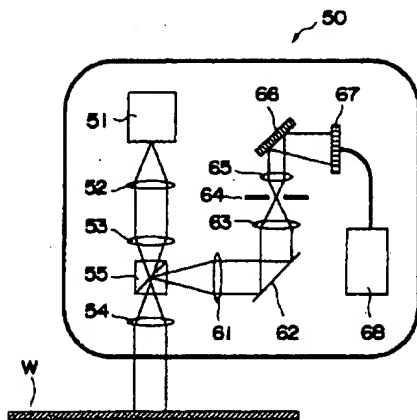
【図3】



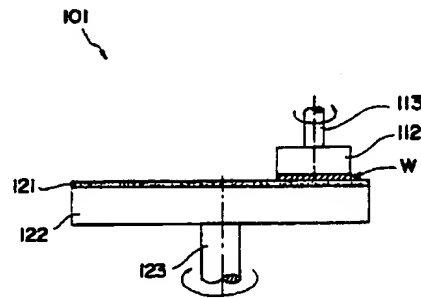
【図4】



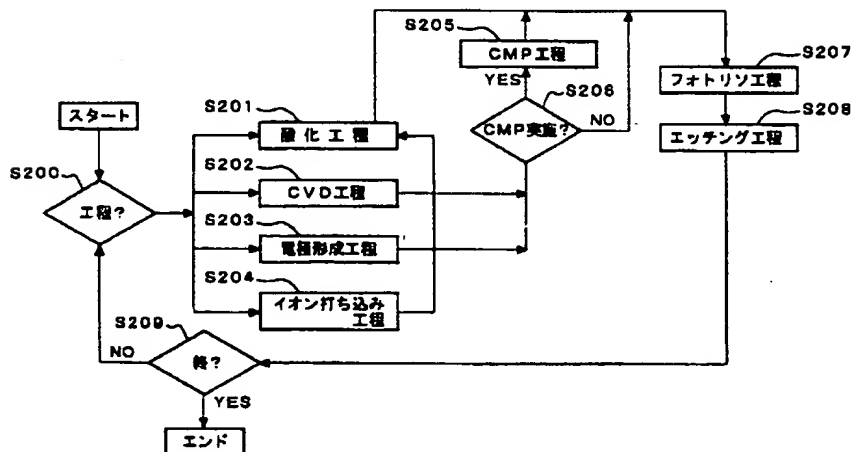
【図6】



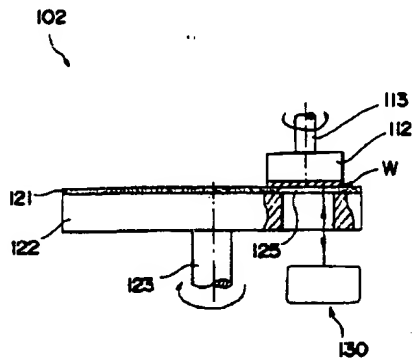
【図8】



【図7】



【図9】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
// G 0 1 B 11/30

識別記号  
1 0 2

F I  
G 0 1 B 11/30

テーム(参考)  
1 0 2 Z

Fターム(参考) 2F065 AA50 BB03 CC19 FF44 HH04  
3C034 AA08 AA13 BB93 CA05  
3C058 AA07 AC02 BA01 BA07 CA01  
CA06 CB01 CB03 DA17

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**